

# 不可視光源による影を用いた歩容による個人識別

内野康司 岩下友美 ○大石修士 倉爪亮 (九州大学) AdrianStoica(JPL)

## 1. はじめに

本稿では、屋内向けの監視システムの一手法として、天井に設置されたカメラから得られる、対象人物の影を用いた歩容による個人識別手法を提案する。歩容を用いた個人識別システムは、遠方からでも観測可能で、対象人物に特別な動作を行わせることなく、かつ非接触に生体情報を取得して識別が可能である [1] [2]。歩容による個人識別手法では、カメラにより撮影された対象人物の歩行画像列から、その歩き方および全身形状に対して得られる特徴を用いる。従来手法では、まず背景差分法により撮影画像列から対象人物のシルエット領域を抽出して、次に例えば Gait Energy Image(GEI) [2]、フーリエ変換 [3] [4] やアフィンモーメント不変量 [5] に基づき歩行特徴を抽出する。また歩容を用いた個人識別では、単一視点よりも、複数視点からの歩行画像を用いた場合の方が、高い識別率での個人識別が可能であることが知られている。一方で複数台のカメラを用いた場合、同期の手間や計算コストが高くなるため、多くの従来手法では単一カメラが用いられてきた。

我々はこれまでに、太陽、または照明により地面に投影された対象人物の影領域を影生体情報として提案を行い、さらに影生体情報を用いた個人識別手法を開発した [6] [7]。この研究では、建物の上階にカメラを地面に対して斜めに設置し、それによって撮影された対象人物の体領域と影領域を含む歩行画像を用いて個人識別を行った。ここで、用いた歩行画像中の実際の体領域はカメラの視点から得られる人物領域であるのに対して、影領域は他の視点に置かれた仮想カメラから撮影された人物領域であると見なせる。そのため、地面に対してカメラが斜めに設置される場合、カメラ1台を用いた場合でも、仮想的に2つの視点からの対象人物領域を含む歩行画像を撮影することが可能となる。実験では、体領域と影領域の2つを用いた場合、影領域のみを用いた場合と比較して、より高い識別率で個人識別可能であることを示した。一方、上述の研究の拡張として、複数台の照明を地面に対して斜めに配置し、照明により複数方向へ投影された対象人物の影を単一カメラで撮影することで、単一カメラを用いた場合でも、複数視点から撮影された歩行画像を得ることが可能であると考えられる。そこで、本稿では、天井に設置された単一カメラと複数台の照明を用いた、影生体情報による個人識別システム、および影画像データベースの提案を行う。ただし、蛍光灯などを用いた一般的な照明環境下において、歩行者の影を生成するには照度が強い照明を使用する必要があるが、強い照度は対象人物の歩行に影響する可能性がある。そこで、本研究では人間には不可視である赤外線ライトを照明として用い、カメラには赤外線透過フィルタを付けて、赤外線ライトによる対象人物の複数の影領域を撮影する。次に撮影された影画像から、2次元アフィンモー

メント不変量に基づき歩行特徴を抽出し、個人識別を行う。従来の2次元アフィンモーメント不変量を用いた個人識別手法 [5] では、歩行画像列から抽出したシルエットを重心位置で重ね合わせた平均画像を用いた。しかし、ライトにより作り出した影画像を用いる場合には、歩行者の歩行の位相やライトに対する歩行者の相対位置の変化により、シルエット領域の重心位置が大きく変化する。そのため、例えば歩行者のライトに対する位置がデータベースのそれと異なる場合、重心位置が変化するため、安定した平均画像の合成が困難となり、識別率が低下してしまう。そこで本論文では、平均画像からではなく、各画像から抽出された歩行特徴を用いた新たな個人識別手法を提案する。本論文の構成は以下の通りである。まず第2章では赤外線ライトによる影画像データベースの構築について述べ、第3章では対象人物の影生体情報に基づく個人識別手法について述べる。次に第4章では影画像データベースに対して提案手法を適用して実験を行い、本手法の有効性を示す。第5章はまとめと今後の予定である。

## 2. 赤外線ライトによる影画像データベース

まず赤外線ライトによる影画像の例として、人物の斜め上の位置に赤外線ライトを設置して、床面上に投影された影を撮影した画像を図1に示す。図1(a)の画像はカメラに可視光線透過フィルタを付けた場合であり、これは人間が見る映像と同じである。図1(b)の画像はカメラに赤外線透過フィルタを付けた場合の画像であり、これは人間にとって不可視な領域の画像である。これから、人間には不可視である赤外線によって影が生成されていることがわかる。

次に、赤外線ライトによる影画像データベースの構築について述べる。まず、図2に示すように2台の赤外線ライト (Bosch, IR Illuminator 850 nm, UFLED30-8BD) を、それぞれ地面に対して同じ仰角となるように、また人物を挟んでほぼ反対側となる位置 (高さは約7[m]、床面上におけるカメラから人物までの距離は約6[m]) に設置した。実際に構築した実験スタジオを図3に示す。また、1台のカメラ (PointGrey Research Inc., Grasshopper2 M/C) をカメラの光軸が床面に対して垂直となるように設置した。ここで、被験者は撮影区間の前後に加速区間と減速区間を設けており、また十分に加速した後に、撮影区間の指定された位置に右足が接地するようにした。画像解像度は1600×1200、フレームレートは30Hzであり、また被験者は28名、それぞれ5回の直線歩行を撮影した。図4に撮影画像の一例を示す。

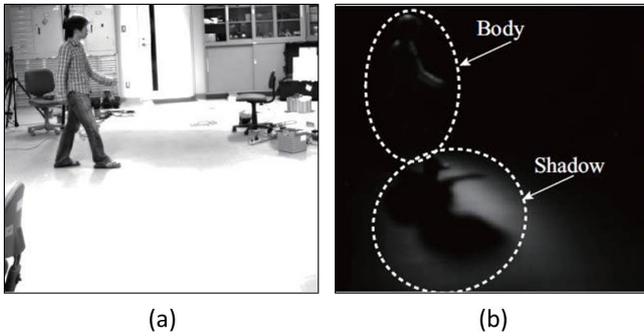


図 1 赤外線ライトにより投影された影領域の例。(a) 可視光線透過フィルタを付けた場合、(b) 赤外線透過フィルタを付けた場合

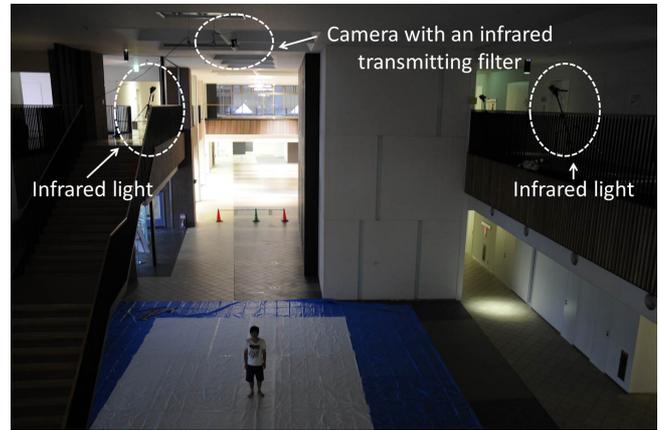


図 3 構築した実験スタジオ

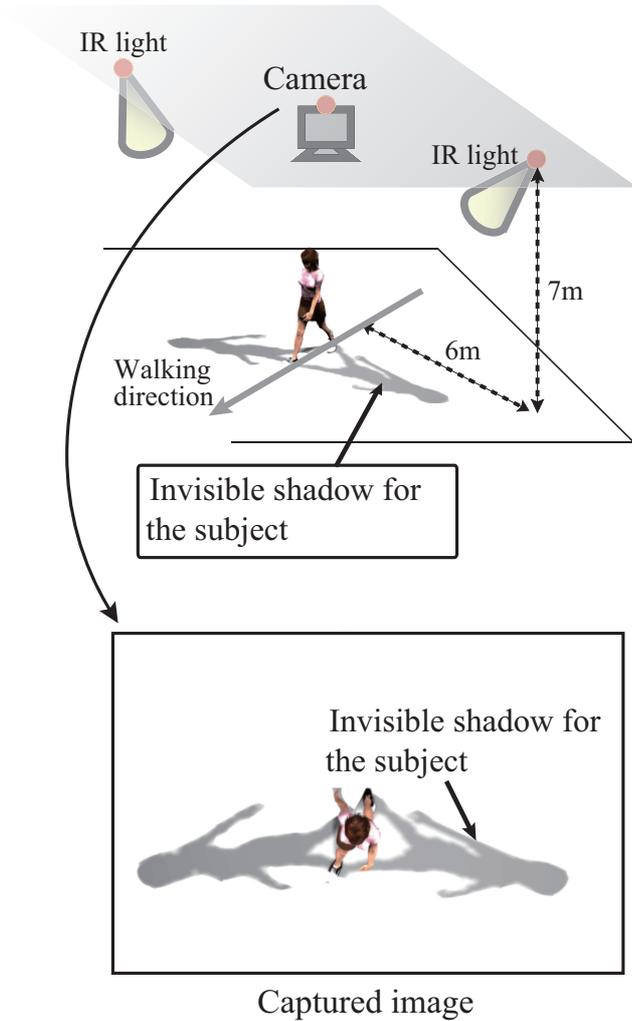


図 2 実験環境

### 3. 赤外線ライトによる影画像を用いた個人識別

本章では、複数の赤外線ライトによる影画像を用いた個人識別手法について述べる。まず撮影された複数の影領域を含む画像から、それぞれの影領域を抽出する手法について述べ、次に時系列の影領域から歩行特徴を抽出する手法と、それらの歩行特徴から 1 歩行周

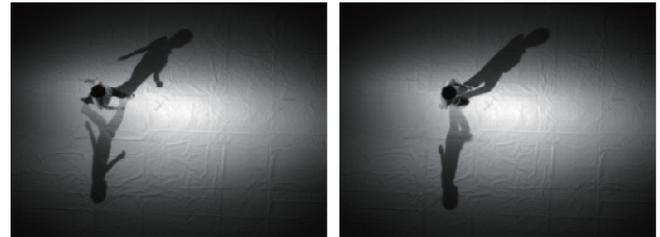


図 4 撮影された画像の例

期分を切り出す手法について述べる。最後に、1 歩行周期分の歩行特徴を用いた個人識別手法について述べる。

#### 3.1 影領域の抽出と 2 次元アフィンモーメント不変量に基づく歩行特徴抽出

本節では、撮影画像列から影領域を抽出する方法と 2 次元アフィンモーメント不変量に基づく歩行特徴抽出について述べる。

まず輝度値の差に基づく背景差分法により、撮影画像から実際の人物領域、及び影領域を抽出する。図 5(a) に実際の画像、図 5(b) に背景差分結果を示す。

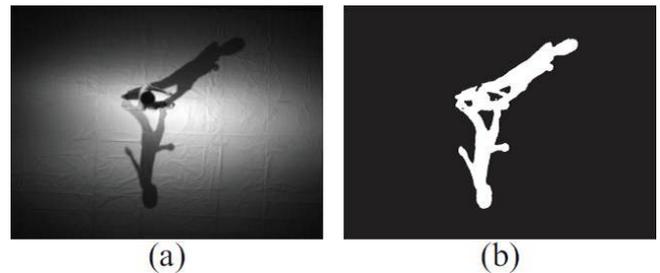


図 5 (a) データベースにおける歩行画像の例、(b) 抽出された対象人物領域

次に抽出した影領域より、歩行特徴として 2 次元アフィンモーメント不変量を抽出する。アフィンモーメント不変量はモーメントベースの記述子であり、一般的なアフィン変換に対して不変である。二次元平面上における  $(p+q)$  次のモーメントは次の式で表される。

$$\mu_{pq} = \iint_{(x,y) \in O} x^p y^q I(x,y) dx dy. \quad (1)$$

ここで座標  $(x, y)$  は対象人物の領域  $O$  を基準とした座標であり、また  $I(x, y)$  は画像の輝度値を示す．式 1 を離散化すると、

$$\mu_{pq} = \sum \sum_{(x,y) \in O} x^p y^q I(x, y) \quad (2)$$

と表される．式 2 より重心の位置は次の式で表される．

$$x_g = \frac{\mu_{10}}{\mu_{00}}, y_g = \frac{\mu_{01}}{\mu_{00}} \quad (3)$$

と表される．式 2 と式 3 より重心周りのモーメントは次の式で表される．

$$\mu_{pq} = \sum \sum_{(x,y) \in O} (x - x_g)^p (y - y_g)^q I(x, y) \quad (4)$$

またモーメントは形状の特徴を示しており、0 次モーメントは対象物体領域の面積、2 次モーメントは対象の重心周りの分散、3 次モーメントは対象物体の歪度を示す．以下に本研究で用いる 22 個の 2 次元アフィンモーメント不変量  $I = \{I_1, I_2, \dots, I_{22}\}$  のうちの 6 個を示す [8][9]．

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{1}{\mu_{00}^4} (\mu_{20}\mu_{02} - \mu_{11}^2) \\ I_2 &= \frac{1}{\mu_{00}^{10}} (\mu_{30}^2\mu_{03}^2 - 6\mu_{30}\mu_{21}\mu_{12}\mu_{03} + 4\mu_{30}\mu_{12}^3 + 4\mu_{03}\mu_{21}^3 \\ &\quad - 3\mu_{21}^2\mu_{12}^2) \\ I_3 &= \frac{1}{\mu_{00}^7} (\mu_{20}(\mu_{21}\mu_{03} - \mu_{12}^2) - \mu_{11}(\mu_{30}\mu_{03} - \mu_{21}\mu_{12}) \\ &\quad + \mu_{02}(\mu_{30}\mu_{12} - \mu_{21}^2)) \\ I_4 &= \frac{1}{\mu_{00}^{11}} (\mu_{20}^3\mu_{03}^2 - 6\mu_{20}^2\mu_{11}\mu_{12}\mu_{03} - 6\mu_{20}^2\mu_{02}\mu_{21}\mu_{03} \\ &\quad + 9\mu_{20}^2\mu_{02}\mu_{12}^2 + 12\mu_{20}\mu_{11}^2\mu_{21}\mu_{03} \\ &\quad + 6\mu_{20}\mu_{11}\mu_{02}\mu_{30}\mu_{03} - 18\mu_{20}\mu_{11}\mu_{02}\mu_{21}\mu_{12} \\ &\quad - 8\mu_{11}^3\mu_{30}\mu_{03} - 6\mu_{20}\mu_{02}^2\mu_{30}\mu_{12} + 9\mu_{20}\mu_{02}^2\mu_{21}^2 \\ &\quad + 12\mu_{11}^2\mu_{02}\mu_{30}\mu_{12} - 6\mu_{11}\mu_{02}^2\mu_{30}\mu_{21} + \mu_{02}^3\mu_{30}^2) \\ I_5 &= \frac{1}{\mu_{00}^6} (\mu_{40}\mu_{04} - 4\mu_{31}\mu_{13} + 3\mu_{22}^2) \\ I_6 &= \frac{1}{\mu_{00}^9} (\mu_{40}\mu_{04}\mu_{22} + 2\mu_{31}\mu_{22}\mu_{13} - \mu_{40}\mu_{13}^2 - \mu_{04}\mu_{31}^2 \\ &\quad - \mu_{22}^3) \end{aligned} \quad (5)$$

### 3.2 1 歩行周期の切り出し

前節で求めた 2 次元アフィンモーメント不変量の 1 つである  $I_1$  に注目すると、図 6 に示すように周期性があり、また極大値は両脚支持期であることがわかる．そこで、最初に極大値を示すフレームから 3 つ目に極大値を示すフレームまでを、一歩行周期と定義して切り出す．

### 3.3 個人識別

従来、2 次元アフィンモーメント不変量を用いた個人識別では、歩行画像列内の歩行者自身のシルエットを重心位置で重ね合わせた平均画像を用いてきた．しかし、図 7 のように点光源であるライトと歩行者の相対

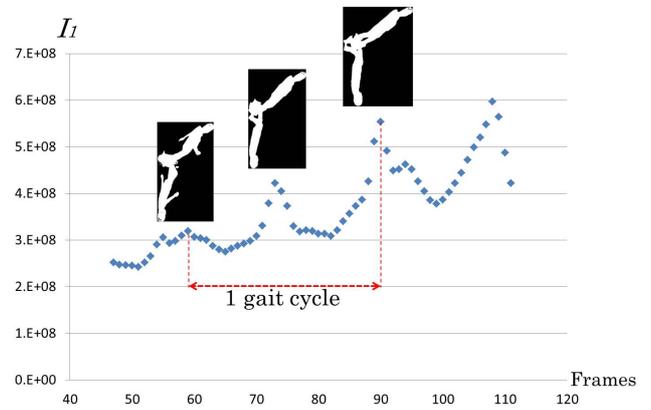


図 6 一歩行周期中のアフィンモーメント不変量  $I_1$

位置がデータベース構築時と異なる場合、例えば同じ右足接地時の影であっても、影の形状は同一にはならず重心位置も異なる．従って、合成される平均画像から得られる特徴も異なったものになり、識別率が低下してしまう．そこで本手法では、平均画像を用いるのではなく、各歩行画像から得られる歩行特徴を用いた個人識別手法を提案する．提案手法では、識別器として k-nearest neighbour 法 (knn) と投票を組み合わせる．個人識別を行う際には、まず学習用の歩行画像列に属する、それぞれの影画像から 2 次元アフィンモーメント不変量により歩行特徴を求めて、データベースを構築する．次にテスト用の歩行画像列に対しても同様に、影画像毎に特徴を求め、knn を用いて、それぞれの特徴に対して最近傍の特徴を持つデータベース内の人物へ投票を行う．例を図 8 に示す．最後に投票の結果を統合し、最も多くの票を得た人物を被認証者とする．

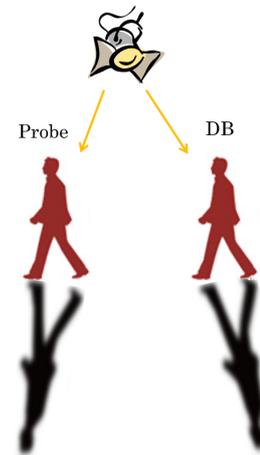


図 7 ライトと歩行者の相対位置による影形状の変化

## 4. 実験

本章では第 2 章で提案した影画像データベースを用いた、個人識別実験について述べる．実験では、(a) 投票を用いた個人識別 (提案手法)、(b) 平均画像を用いた個人識別 (従来手法) [5] の 2 通りを行い、提案手

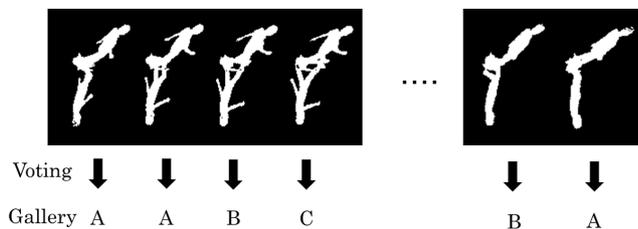


図8 最近傍の特徴を持つ人物への投票

法と従来手法 [5] の比較を行う。さらに、これらの結果と我々がこれまでに提案している球面調和関数を用いた手法 [10] の結果と比較をする。実験で用いる影画像データベースは、2章で述べたように被験者は28名、それぞれ5回の試行の直線歩行画像データから構成される。なおここでは、Leave-one-out cross validation に基づき識別率を求めた。また、影のシルエット領域をそれぞれ図9のように水平方向に複数領域分割（実験では分割数1, 2, 4, 8の4通り）して、特徴を抽出した場合の識別実験も行った。

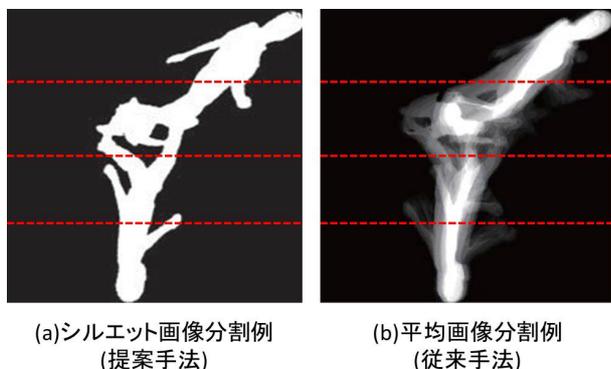


図9 シルエット画像の領域分割例 (4分割)

まず、提案手法である投票を用いた個人識別を行った。その結果を表1に示す。表1は、領域分割数毎の識別率 (CCR) を示している。

表1 投票を用いた個人識別手法による識別実験結果 [%]

The division number	1	2	4	8
CCR[%]	95.1	97.9	99.3	100.0

次に、平均画像から得られる歩行特徴を利用する従来手法による個人識別実験を行った。平均画像の生成には、影画像データベース構築に用いた1歩行周期分の画像列を利用した。識別結果を表2に示す。

表2 平均画像を用いた従来手法 [5] による識別実験結果 [%]

The division number	1	2	4	8
CCR[%]	87.1	94.3	86.4	87.1

以上の結果から提案手法は平均画像を用いた従来手法 [5] よりも高い識別率を示している。また球面調和関数を用いた手法 [10] が示した識別率は95%であり、提案手法が最も高い識別率を示すことが確認できた。

## 5. まとめ

本稿では赤外線ライトによる人間に不可視な影を用いた、歩容による個人識別システムを提案した。提案システムでは複数台の赤外線ライトと単一カメラを用いており、影領域は他の視点に置かれた仮想カメラから撮影された領域であると見なせる。すなわち単一カメラを用いた場合でも複数視点から撮影された歩行画像を得ることができる。新たに構築した影画像データベースに対して、提案手法を適用した結果、複数の影領域を用いることで、高い識別率で個人識別可能であることが分かった。また、歩行特徴として2次元アフィンモーメント不変量を用いる場合は、平均画像を用いる手法よりも、提案手法の方が高い識別率を実現できることも示した。今後は、衣服の変化により対象人物の見えが変化する場合でも、個人識別を可能とするシステムを開発する。

## 謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (B) (課題番号 23360115) の支援を受けた

## 参考文献

- [1] S. Lee, Y. Liu & R. Collins: Shape Variation-based Frieze Pattern for Robust Gait Recognition, *Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.1-8, 2007.
- [2] J. Han & B. Bhanu: Individual Recognition Using Gait Energy Image, *IEEE Trans. PAMI*, vol. 28, no. 2, pp. 316-322, 2006.
- [3] J. Acquah, M. Nixon & J. Carter: Automatic gait recognition by symmetry analysis, *Pattern Recognition Letters*, 24, pp.2175-2183, 2003.
- [4] K. Sugiura, Y. Makihara & Y. Yagi: Gait Identification based on Multi-view Observations using Omnidirectional Camera, *Asian Conf. on Computer Vision*, Vol.1, pp.452-461, 2007.
- [5] Y. Iwashita & R. Kurazume: Person identification from human walking sequences using affine moment invariants, *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pp.436-441, 2009.
- [6] A. Stoica: Towards Recognition of Humans and their behaviors from Space and Airborne Platforms: Extracting the Information in the Dynamics of Human Shadows, *Bio-inspired, Learning and Intelligent Systems for Security*, 2008.
- [7] Y. Iwashita, A. Stoica & R. Kurazume: Person Identification using Shadow Analysis, *British Machine Vision Conference*, pp.35.1-10, 2010.
- [8] J. Flusser, and T. Suk, "Pattern recognition by affine moment invariants," *Pattern Recognition*, vol.26, no.1, pp.167-174, 1993.
- [9] J. Flusser, T. Suk, and B. Zitova, "Moments and Moment Invariants in Pattern Recognition," *Wiley & Sons Ltd.*, 2009.
- [10] 複数の赤外線ライトによる影を用いた歩容による個人識別岩下友美, 内野康司, 倉爪 亮, Adrian Stoica, *信学技報*, vol. 111, no. 430, PRMU2011-198, pp. 71-75, 2012.